



Docket No.: P2000,0361

I hereby certify that this correspondence is being deposited with the United States Postal Service as First Class Mail in an envelope addressed to the Commissioner for Patents, P.O. Box 1450, Alexandria, VA 22313-1450 on the date indicated below.

By: Markus Nolff Date: July 31, 2003

IN THE UNITED STATES PATENT AND TRADEMARK OFFICE

Applicant : Wolfgang Dickenscheid, et al.
Applic. No. : 10/609,464
Filed : June 27, 2003
Title : Method for Characterizing and Simulating a Chemical Mechanical Polishing Process

CLAIM FOR PRIORITY

Commissioner for Patents,
P.O. Box 1450, Alexandria, VA 22313-1450

Sir:

Claim is hereby made for a right of priority under Title 35, U.S. Code, Section 119, based upon the German Patent Application 100 65 380.4, filed December 27, 2000.

A certified copy of the above-mentioned foreign patent application is being submitted herewith.

Respectfully submitted,

Markus Nolff
For Applicant

MARKUS NOLFF
REG. NO. 37,006

Date: July 31, 2003

Lerner and Greenberg, P.A.
Post Office Box 2480
Hollywood, FL 33022-2480
Tel: (954) 925-1100
Fax: (954) 925-1101

/av

BUNDESREPUBLIK DEUTSCHLAND



Prioritätsbescheinigung über die Einreichung einer Patentanmeldung

Aktenzeichen: 100 65 380.4
Anmeldetag: 27. Dezember 2000
Anmelder/Inhaber: Infineon Technologies AG,
München/DE
Bezeichnung: Verfahren zur Charakterisierung und
Simulation eines chemisch-mechanischen
Polier-Prozesses
IPC: B 24 B, H 01 L

Die angehefteten Stücke sind eine richtige und genaue Wiedergabe der ursprünglichen Unterlagen dieser Patentanmeldung.

München, den 05. Juni 2003
Deutsches Patent- und Markenamt

Der Präsident
im Auftrag

A handwritten signature in black ink, which appears to read "Weihmayr".

Beschreibung

Verfahren zur Charakterisierung und Simulation eines chemisch-mechanischen Polier-Prozesses

Die vorliegende Erfindung betrifft ein Verfahren zur Charakterisierung und Simulation eines chemisch-mechanischen Polier-Prozesses, bei dem ein zu polierendes Substrat, insbesondere ein Halbleiterwafer, auf ein Poliertuch gedrückt und relativ zu diesem für eine bestimmte Polierzeit rotiert wird.

Chemisch-mechanisches Polieren (CMP) ist ein Verfahren zum Planarisieren oder Polieren von Substraten, das insbesondere in der Halbleiterfertigung gebräuchlich ist. Planarisierte Oberflächen weisen beispielsweise den Vorteil auf, daß ein nachfolgender Belichtungsschritt mit einer höheren Auflösung durchgeführt werden kann, da die erforderliche Tiefenschärfe aufgrund der reduzierten Oberflächentopographie einen kleineren Wert benötigt.

Dabei besteht das Problem, daß unterschiedliche Strukturdichten und -abstände im Layout eines Halbleiterchips die Planarisierungseigenschaften des CMP-Prozesses beeinflussen. Ungünstig gewählte Prozeßparameter führen dann dazu, daß nach dem CMP-Prozeß über der Chipfläche eine große Schwankung der Schichtdicke besteht (globale Topographie). Andererseits führt auch ein ungünstig gewähltes Schaltungslayout zu unzureichender Planarisierung. Dabei beeinträchtigt die unzureichende Planarisierung wegen der damit verbundenen Schichtdickenvariationen über der Chipfläche bzw. der Bildfeldfläche eines nachfolgenden Belichtungsschrittes die Folgeprozesse und damit auch die Produkteigenschaften. Insbesondere das Prozeßfenster eines nachfolgenden Lithographieschrittes verkleinert sich aufgrund der reduzierten Tiefenschärfe.

Bisher werden die einzustellenden Prozeßparameter für den CMP-Prozeß meist für jeden neu zu polierenden Layer auf dem

Halbleiterwafer und für fast jedes neue Produkt eigens angepaßt. Für jeden CMP-Prozeß existiert eine Vielzahl von Prozeßparametern wie die Rotationsgeschwindigkeiten von Poliertellers und Substrathalter, die Andruckkraft, die Polierzeit, die Beschaffenheit des Poliertuchs oder die Wahl des Poliermittels. Weiter muß die Abscheidedicke der zu planarisierenden Schicht den Planarisierungseigenschaften des verwendeten CMP-Prozesses sowie den Strukturdichten und -größen des Chipayouts angepaßt werden.

Die optimalen Parameter werden typischerweise in einer Reihe von Teststaffeln durch Versuch und Irrtum bestimmt. Diese Versuche erfordern einen nicht unerheblichen Zeit- und Kostenaufwand und außerdem das Vorhandensein einer ausreichenden Anzahl von Wafern eines neuen Produktlayouts.

Darüber hinaus ist die Vermessung der entstehenden globalen Topographie auf den Testwafern schwierig, so daß in der Praxis oft nur die weniger aussagekräftigen lokalen Planarisierungseigenschaften untersucht werden.

Hier setzt die Erfindung an. Der Erfindung, wie sie in den Ansprüchen gekennzeichnet ist, liegt die Aufgabe zugrunde, ein Verfahren anzugeben mit dem ein CMP-Prozeß derart charakterisiert werden kann, daß für ein gegebenes Produktlayout das Prozeßergebnis ohne Tests an realen Layoutsubstraten vorhergesagt werden kann.

Diese Aufgabe wird erfindungsgemäß durch das Simulationsverfahren nach Anspruch 1 gelöst. Die Erfindung stellt auch ein Verfahren zum chemisch-mechanischen Polieren eines Substrats unter Verwendung des Ergebnisses des vorgenannten Simulationsverfahrens nach Anspruch 11 bereit.

Das erfindungsgemäße Verfahren zur Charakterisierung und Simulation eines CMP-Prozesses, bei dem ein zu polierendes Substrat, insbesondere ein Halbleiterwafer, auf ein Poliertuch

gedrückt und relativ zu diesem für eine bestimmte Polierzeit rotiert wird, umfaßt die Verfahrensschritte:

- a) Festlegen eines Satzes von Prozeßparametern, insbesondere von Andruckkraft und relativer Rotationsgeschwindigkeit von Substrat und Poliertuch,
- b) Bereitstellen und Charakterisieren eines Testsubstrats mit Testmustern mit unterschiedlichen Strukturdichten bei den festgelegten Prozeßparametern;
- c) Bestimmen eines Satzes von Modellparametern zur Simulation des CMP-Prozesses aus den Ergebnissen der Charakterisierung des Testsubstrats;
- d) Bestimmen von Layoutparametern des zu polierenden Substrats;
- e) Festlegen eines Anforderungsprofils an das CMP-Prozeßergebnis für das zu polierende Substrat; und
- f) Simulieren des CMP-Prozesses zur Bestimmung der zur Erfüllung des Anforderungsprofils erforderlichen Polierzeit.

Das erfindungsgemäße Verfahren hat den Vorteil, daß eine experimentelle Charakterisierung für einen bestimmte Satz von Prozeßparametern nur ein einziges mal erfolgen muß und zwar an einem Testsubstrat, das Testmustern mit unterschiedlichen Strukturdichten aufweist. Die Ergebnisse der Charakterisierung des Testsubstrats dienen zur Bestimmung eines Satzes von Modellparametern, mit denen der CMP-Prozeß dann für jedes beliebige Layout simuliert werden kann.

Für eine gegebenes Layout werden dann Layoutparameter bestimmt, die Eingangsgrößen für die Simulation bilden. Ebenso werden die Anforderungen an das Prozeßergebnis, beispielsweise eine bestimmte Annäherung an die optimal erreichbare globale Stufenhöhe festgelegt. Aus den allgemeingültigen Modellparametern und den speziellen Layoutparametern kann dann durch die Simulation des CMP-Prozesses die für dieses Layout benötigte Polierzeit bestimmt werden, ohne daß ein experimentelle Teststaffel mit dem Layout selbst erforderlich wäre.

Somit kann ohne den Einsatz von Produktwafern theoretisch ermittelt werden, ob ein gewähltes Layout mit einem bestimmten Prozeß auf die gewünschte Art poliert werden kann. Auch Aussagen über das CMP Prozeßfenster sind möglich. Somit ergibt sich bei der Technologieentwicklung neuer Produkte eine beträchtliche Zeit- und Kostenersparnis.

Die Testmuster des Testsubstrats bestehen aus Bereichen mit hochliegenden (Up) und tiefliegenden (Down) Gebieten bestimmter Stufenhöhe, beispielsweise isolierten Blöcken oder Linienmustern. Das Verhältnis von Up-Gebieten zu Down-Gebieten bestimmt die Strukturdichte, deren Grenzen durch eine Dichte von 0% (nur Down-Gebiete) bzw. 100% (nur Up-Gebiete) gebildet sind. Ein bevorzugtes Testsubstrat enthält Linienmuster mit einer Periode (der Breite der Up- und Down-Gebiete zusammen) von $250 \mu\text{m}$ bei Strukturdichten von 4% bis 72%.

In einer Ausgestaltung des Verfahrens wird in Schritt b) das Testsubstrat in einer experimentellen Polierzeitstaffel charakterisiert, bei der die Schichtdickenentwicklung der Testmuster als Funktion der Polierzeit gemessen wird.

Bevorzugt umfaßt der in Schritt c) bestimmte Satz von Modellparametern die Abtragsrate K , die Härte E des Poliertuchs und eine charakteristische Filterlänge c_0 zur Ermittlung effektiver Strukturdichten. Dabei wird eine effektive Strukturdichte aus der konkreten Strukturdichte eines Layouts durch eine geeignete Mittlung über ein Gebiet bestimmter Größe gewonnen.

Bevorzugt erfolgt die Mittlung durch eine Faltung des konkreten Strukturdichte mit einer Gewichtsfunktion. Zweckmäßig wird als Gewichtsfunktion eine zweidimensionalen Gaußverteilung gewählt, die charakteristische Filterlänge ist in diesem Fall die Halbwertsbreite der Gaußkurve. Es sind jedoch auch andere Gewichtsfunktionen sinnvoll, beispielsweise quadratische, zylindrische und elliptische Gewichtsfunktionen, wobei die elliptischen und Gauß Gewichtsfunktionen nach gegenwärtig-

gem Kenntnisstand den kleinsten Fehler aufweisen und daher bevorzugt eingesetzt werden.

Die Abtragsrate K und die Härte E werden vorteilhaft aus der Schichtdickenentwicklung eines Testmusters mit mittlerer Strukturdichte bestimmt. Zweckmäßig wird dabei die Abtragrate aus der Steigung der Schichtdickenentwicklung für lange Polierzeiten ermittelt, und die Härte des Poliertuchs aus der Schnelligkeit, mit der Up- bzw. Down-Gebiete der Testmusters die Abtragsrate erreichen. Die Werte für K und E können beispielsweise aus der Anpassung eines lokalen Poliermodells an die experimentellen Ergebnisse einer Polierzeitstaffel gewonnen werden.

Die Filterlänge c_0 wird mit Vorteil aus der globalen Stufenhöhe aller Testmuster des Testsubstrats bestimmt. Dabei ist die globale Stufenhöhe die Schichtdickendifferenz zwischen dem maximalen Schichtdickenmeßwert aller Up-Gebiete und dem minimalen Schichtdickenmeßwert aller Down-Gebiete. Da die globale Stufenhöhe somit eine Korrelation über die Fläche des gesamten Layouts herstellt, ist einleuchtend, daß eine nennenswerte globale Stufenhöhe verbleiben kann, obwohl die lokalen Stufen durch den Poliervorgang bereits eingeebnet wurden. Für die Tiefenschärfe eines nachfolgenden Belichtungsschrittes ist jedoch die globale Stufenhöhe über der Bildfeldfläche des Belichtungsschritts (beispielsweise $21 \times 21 \text{ mm}^2$) maßgeblich.

In einer Ausgestaltung des Verfahrens werden in Schritt d) als Layoutparameter des Substrats die minimale und maximale effektive Strukturdichte, ρ_{\min} bzw. ρ_{\max} , sowie die Eingangsstufenhöhe h_0 verwendet. Die effektiven Strukturdichten ergeben sich wiederum aus der konkreten Strukturdichte des Layouts durch eine geeignete Mittlung über ein Gebiet bestimmter Größe, charakterisiert durch die Filterlänge c_0 .

Das in Schritt e) festgelegte Anforderungsprofil ist bevorzugt durch eine zu erreichende globale Stufenhöhe auf dem Substrat nach Durchführung des CMP-Prozesses gegeben, da die globale Stufenhöhe die Tiefenschärfe eines nachfolgenden Beleuchtungsschrittes maßgeblich bestimmt.

In einer Ausgestaltung des Simulationsverfahren wird in der Simulation in Schritt f) zusätzlich zur benötigten Polierzeit die für die Durchführung des CMP-Prozesses benötigte Abscheidedicke A bestimmt.

Bevorzugt wird zusätzlich in der Simulation die minimal erreichbare globale Stufenhöhe bestimmt. Diese Bestimmung beruht auf der Erkenntnis, daß für hinreichend große Polierzeiten die lokalen Stufen verschwunden sind, und sich die globale Stufenhöhe nur noch unwesentlich ändert. Für den Grenzfall unendlich langer Polierzeit ergibt sich eine verbleibende globale Stufenhöhe, die nur von der Eingangsstufenhöhe und der minimale und maximale effektive Strukturdichte des zu polierenden Layouts abhängt.

Wird in Schritt f) die minimal erreichbare Stufenhöhe bestimmt, so bietet es sich an, in Schritt e) die zu erreichende globale Stufenhöhe in Abhängigkeit von der minimal erreichbaren globalen Stufenhöhe zu wählen. Beispielsweise wird, ausgehend von der Eingangsstufenhöhe verlangt, 80%, 90% oder 95% der Differenz zwischen Eingangsstufenhöhe und minimal erreichbaren globalen Stufenhöhe zu erzielen. Ein solches Vorgehen bietet einen Kompromiß zwischen ausreichender Annäherung an die optimale Planarisierung und der Forderung nach kurzen Polierzeiten.

Die Erfindung umfaßt weiter ein Verfahren zum chemisch-mechanischen Polieren eines Substrats, insbesondere eines Halbleiterwafers, bei dem ein CMP-Prozeß wie beschrieben simuliert wird, auf einem Substrat eine zu planarisierende Schicht abgeschieden wird und das Substrat für eine aus der

Simulation hervorgehenden Polierzeit poliert wird. Wie ausgeführt, ist es nicht notwendig, für jedes neue Substratlayout einen neuen experimentellen Teststaffel durchzuführen. Vielmehr können die Ergebnisse einer experimentellen Charakterisierung eines Testsubstrats für eine Vielzahl von Produktlayouts verwendet werden.

Bevorzugt wird bei dem Polierverfahren der CMP-Prozeß mit einem Verfahren simuliert, das auch die benötigte Abscheidedicke A als Simulationsergebnis liefert. Die zu planarisierende Schicht wird dann vor dem Polierschritt in der benötigten Dicke A abgeschieden.

Weitere vorteilhafte Ausgestaltungen, Merkmale und Details der Erfindung ergeben sich aus den abhängigen Ansprüchen, der Beschreibung der Ausführungsbeispiele und den Zeichnungen.

Nachfolgend soll die Erfindung anhand eines Ausführungsbeispiels im Zusammenhang mit den Zeichnungen näher erläutert werden. Es sind jeweils nur die für das Verständnis der Erfindung wesentlichen Elemente dargestellt. Dabei zeigt:

Figur 1 ein Flußdiagramm eines CMP-Simulationsverfahrens;

Figur 2 ein Flußdiagramm, das eine Unteroutine des Flußdiagramms von Fig. 1 ausführlicher darstellt;

Figur 3 eine Auftragung einer gemessenen Schichtdicke im Up- und Down-Gebiet einer Struktur mittlerer Dichte sowie die globale Stufenhöhe als Funktion der Polierzeit;

Figur 4 eine Auftragung von gemessener und aus dem CMP-Simulationsmodell erhalten globaler Stufenhöhe als Funktion der Polierzeit.

Figur 5 eine schematische Darstellung zur Definition von bei einem CMP-Polierprozeß verwendeter Größen

Figur 5 zeigt zur Definition der verwendeten Größen schematisch einen zu polierenden Wafer 12 und ein Poliertuch 18. Der Wafer 12 weist eine Struktur aus hochliegenden Up-Gebieten 14 und tiefliegenden Down-Gebieten 16 mit einer Stufenhöhe h_0 auf. Aufgrund der Rotationsbewegungen ergibt sich zwischen Wafer und Poliertuch an jedem Ort eine lokale Relativgeschwindigkeit v . Mit der Andruckkraft F und der Fläche des Wafers lässt sich in bekannter Weise mit der Preston-Gleichung die lokale Abtragrate bestimmen.

Figur 1 zeigt ein Flußdiagramm eines Ausführungsbeispiel des CMP-Simulationsverfahrens 100. In einem ersten Schritt 102 werden als Prozeßparameter des zu charakterisierenden Prozesses die relative Geschwindigkeit von Wafer und Poliertuch und die Andruckkraft festgelegt, beispielsweise eine relative Rotationsgeschwindigkeit von TS (Table Speed) = 35 upm (Umdrehungen pro Minute) und eine Andruckkraft von 6 psi.

Im Schritt 104 wird der gewählte Prozeß einmalig vollständig charakterisiert. Dazu wird, wie im Flußdiagramm von Fig. 2 dargestellt, zunächst ein geeignetes Testsubstrat ausgewählt (Bezugszeichen 202). Im Ausführungsbeispiel weist das Testsubstrat Testmuster aus isolierten Blöcken und Linienmustern mit unterschiedlichen Strukturdichten von 4% bis 72% auf. Alle Strukturen der Testmuster haben relativ großer Abmessungen ($\geq 10 \mu\text{m}$) um eine einfache optische Untersuchung der Strukturen und der Auswertung ihrer Entwicklung als Funktion der Polierzeit zu ermöglichen.

Das Testsubstrat wird in Schritt 204 charakterisiert, wobei als Ergebnis die Schichtdickenentwicklung für verschiedene Strukturdichten sowie die globale Stufenhöhe als Funktion der Polierzeit erhalten wird (Bezugszeichen 206).

In den Schritten 206 bis 214 werden nun die experimentellen Werte durch ein lokales CMP-Modell mit globaler Dichte nachgebildet, indem die Modellparameter Abtragrate K, Poliertuchhärte E und Filterlänge c0 angepaßt werden.

5

Die Abtragrate K und die Härte des Poliertuchs E werden aus der Schichtdickenentwicklung eines Testmusters mittlerer Stukturdichte ermittelt, wie in Figur 3 illustriert.

10 Dabei ist eine Auftragung der gemessenen Schichtdicke im Up-Gebiet (Bezugszeichen 302) und Down-Gebiet (Bezugszeichen 304) einer Struktur mittlerer Dichte gezeigt. Es ist zu erkennen, daß zunächst im wesentlichen nur das hochliegende Up-Gebiet abgetragen wird, während die Abtragrate im Down-Gebiet
15 gering ist.

Zu etwas größeren Zeiten wird auch das Down-Gebiet abgetragen und für größere Polierzeiten nähern sich die Abtragraten für Up- und Down-Gebiet an (Bezugszeichen 310). Die Steigung der Schichtdickekurven im Gebiet 310 ist dann ein Maß für die Abtragsrate K.

25 Die Härte E des Poliertuchs bestimmt, wie schnell das Up- und Down-Gebiet diese Abtragrate erreichen. Ermittelt werden die genauen Werte für K und E durch eine Anpassung eines lokalen Modells an die Ergebnisse der Polierzeitstaffel. Die Einzelheiten eines solchen lokalen Modells sind beispielsweise in dem Artikel "A CMP model combining density and time dependences" von Taber H. Smith et al., Proc. CMP-MIC, Santa-Clara,
30 CA, Feb. 1999, beschrieben.

Die Filterlänge c0 wird aus der Zeitentwicklung der globalen Stufenhöhe gewonnen. Die globale Stufenhöhe ist dabei die Schichtdicke differenz zwischen dem maximalen Schichtdickenmeßwert aller Up-Gebiete und dem minimalen Schichtdickenmeßwert aller Down-Gebiete zu jedem Zeitpunkt,

$$St_{\text{global}}(t) = \text{Max}_{\text{Up}} - \text{Min}_{\text{Down}} \quad (1)$$

Wie die Auftragung der gemessenen globalen Stufenhöhe 306 in Fig. 3 zeigt, hat die globale Stufenhöhe noch einen nennenswerten Betrag, wenn die lokale Stufenhöhe, also die Differenz zwischen Schichtdicke im Up-Gebiet (Bezugszeichen 302) und Schichtdicke im Down-Gebiet (Bezugszeichen 304) für eine Teststruktur bestimmter Strukturdichte praktisch schon verschwindet.

10

Das CMP-Modell wird nun an den Verlauf der globalen Stufenhöhe angepaßt, indem aus der konkreten Strukturdichte $\rho_0(x,y)$ des Testsubstrats durch eine Faltung mit einer Gewichtsfunktion eine effektive Strukturdichte $\rho(x,y)$ gewonnen wird, die ebenfalls in die Modellrechnung einfließt.

Jede Gewichtsfunktion hat dabei eine charakteristische Filterlänge c_0 , die die Größe des für die Mittelung herangezogenen Gebiets angibt. Im Ausführungsbeispiel wird als Gewichtsfunktion eine zweidimensionale Gaußverteilung mit einer Halbwertsbreite c_0 gewählt.

Es wurde nun gefunden, daß bei gegebenen Prozeßparametern die verbleibende globale Stufenhöhe $St_{\text{global}}(t)$ für hinreichend lange Polierzeiten nur noch von der Eingangsstufenhöhe h_0 und der minimalen und maximalen effektiven Dichte des Layouts, hier des Testsubstrats, abhängt:

$$St_{\text{global}}(t \rightarrow \infty) = h_0(\rho_{\max} - \rho_{\min}) \quad (2)$$

30

Da ρ_{\max} und ρ_{\min} von c_0 abhängen, kann die Filterlänge durch einen Vergleich von Gleichung (2) mit Gleichung (1) für hinreichend lange Zeiten bestimmt werden.

Der Wert der Filterlänge c_0 ist in der Modellrechnung somit ein Fitparameter, der iterativ solange angepaßt wird, bis eine ausreichende Übereinstimmung der simulierten Daten mit den

experimentell in der Polierzeitstaffel ermittelten Daten erreicht ist (Schritte 208, 210, 212, 214).

Figur 4 zeigt das Ergebnis der CMP-Simulation nach Anpassung 5 der Filterlänge c_0 . Dargestellt sind die gemessene globale Stufenhöhe 402 und die aus dem Modell erhaltene globale Stufenhöhe 404 als Funktion der Polierzeit.

Am Ende der Prozeßcharakterisierung 104 sind die Modellparameter 10 K , E und c_0 für die gewählten Prozeßbedingungen angepaßt. Es steht dann ein Simulationsmodell bereit, das ohne weitere freie Parameter auf ein beliebiges Produktlayout angewendet werden kann.

15 Zurückkommend auf Figur 1 werden zur konkreten Anwendung auf ein Produktlayout in Schritt 106 Layoutparameter bestimmt. Dazu werden aus der durch Vermessung oder aus den Designdaten bekannten konkreten Strukturdichte des Produktlayouts über die Gewichtsfunktion mit Filterlänge c_0 die minimale und 20 maximale effektive Dichte des Produktlayouts sowie die Eingangsstufenhöhe bestimmt.

25 Eine Simulation des CMP-Prozesses für das Produktlayout mit den zuvor ermittelten Werten für K , E und c_0 ergibt dann unmittelbar die lokalen und globale Stufenhöhen als Funktion der Polierzeit.

Wie aus der Auftragung der globalen Stufenhöhe von Figur 4 zu erkennen, nimmt die globale Stufenhöhe mit der Zeit nicht auf 30 Null ab, sondern strebt nach hinreichend langer Polierzeit ihrem durch Gleichung (2) gegeben Grenzwert zu. Es ist daher nicht sinnvoll, sehr lange zu polieren, da dadurch die Prozeßzeit verlängert wird, ohne eine nennenswerte Verbesserung des Prozeßergebnisses zu erreichen.

35

Im Simulationsverfahren wird daher in Schritt 106 ein Anforderungsprofil an das CMP-Prozeßergebnis festgelegt, dessen

Erfüllen das Ende des Polierprozesses bedingt. Dazu wird im Ausführungsbeispiel eine Größe σ festgelegt, beispielsweise auf einen Wert von 0,95, die angibt, welcher Bruchteil des maximal erreichbaren Polierergebnisses für den konkreten 5 Polierprozeß ausreicht.

Mit dieser Abbruchbedingung kann die CMP-Simulation dann die benötigte Polierzeit t_{plan} bestimmen. Sie ergibt sich aus

$$10 \quad St_{\text{global}}(t_{\text{plan}}) - St_{\text{global}}(t \rightarrow \infty) = (1-\sigma) (h_0 - St_{\text{global}}(t \rightarrow \infty)) ,$$

das heißt bei $\sigma = 0,95$ wird innerhalb der Polierzeit t_{plan} eine Reduzierung der globalen Stufenhöhe von h_0 um 95% der maximal möglichen Reduzierung erreicht.

15 Weiter lässt sich aus der im Down-Gebiet mit der geringsten effektiven Strukturdichte abgetragenen Schichtdicke S_{down} zum Zeitpunkt t_{plan} die zur Realisierung dieser Planarisierung benötigte Abscheidedicke A bestimmten:

$$20 \quad A = S_{\text{down}}(t_{\text{plan}}, \rho_{\min}) + h_0$$

Somit lässt sich durch die Simulation ohne Einsatz von realen Produktwafern die aufzubringende Materialdicke, die benötigte 25 Planarisierungszeit und die resultierende globale Stufenhöhe bestimmen.

Selbstverständlich liegt es auch im Rahmen der Erfindung nun einen anderen Satz von Prozeßparametern zu wählen, die CMP-30 Simulation mit diesem Parametersatz durchzuführen und die Ergebnisse mit den oben erhaltenen zu vergleichen, um die Prozeßparameter optimal auf ein gegebenes Produktlayout abzustimmen.

Patentansprüche

1. Verfahren zur Charakterisierung und Simulation eines chemisch-mechanischen Polier (CMP) -Prozesses, bei dem ein zu polierendes Substrat, insbesondere ein Halbleiterwafer, auf ein Poliertuch gedrückt und relativ zu diesem für eine bestimmte Polierzeit rotiert wird, umfassend die Verfahrensschritte:
 - a) Festlegen eines Satzes von Prozeßparametern, insbesondere von Andruckkraft und relativer Rotationsgeschwindigkeit von Substrat und Poliertuch,
 - b) Bereitstellen und Charakterisieren eines Testsubstrats mit Testmustern mit unterschiedlichen Strukturdichten bei den festgelegten Prozeßparametern;
 - c) Bestimmen eines Satzes von Modellparametern zur Simulation des CMP-Prozesses aus den Ergebnissen der Charakterisierung des Testsubstrats;
 - d) Bestimmen von Layoutparametern des zu polierendes Substrats;
 - e) Festlegen eines Anforderungsprofils an das CMP-Prozeßergebnis für das zu polierende Substrat; und
 - f) Simulieren des CMP-Prozesses zur Bestimmung der zur Erfüllung des Anforderungsprofils erforderlichen Polierzeit.
2. Simulationsverfahren nach Anspruch 1, bei dem in Schritt b) das Testsubstrat in einer experimentellen Polierzeitstafel charakterisiert wird.
3. Simulationsverfahren nach Anspruch 1 oder 2, bei dem der in Schritt c) bestimmte Satz von Modellparametern die Abtragsrate K, die Härte E des Poliertuchs und eine charakteristische Filterlänge c₀ zur Ermittlung effektiver Strukturdichten umfaßt.
4. Simulationsverfahren nach Anspruch 3, bei dem die Abtragsrate K und die Härte E aus der Schichtdickenentwicklung eines

Testmusters mit mittlerer Strukturdichte des Testsubstrats bestimmt wird.

5. Simulationsverfahren nach Anspruch 3 oder 4, bei dem die Filterlänge c_0 aus der globalen Stufenhöhe aller Testmuster des Testsubstrats bestimmt wird.

10 6. Simulationsverfahren nach einem der Ansprüche 3 bis 5, bei dem die in Schritt d) bestimmten Layoutparameter des Substrats eine über die Filterlänge c_0 bestimmte minimale und maximale effektive Strukturdichte ρ_{\min} , ρ_{\max} und die Eingangsstufenhöhe h_0 umfassen.

15 7. Simulationsverfahren nach einem der vorigen Ansprüche, bei dem das in Schritt e) festgelegte Anforderungsprofil durch eine zu erreichenden globale Stufenhöhe auf dem Substrat nach Durchführung des CMP-Prozesses gegeben ist.

20 8. Simulationsverfahren nach einem der vorigen Ansprüche, bei dem in der Simulation in Schritt f) zusätzlich die für die Durchführung des CMP-Prozesses benötigte Abschiededicke A bestimmt wird.

25 9. Simulationsverfahren nach Anspruch 8, bei dem in der Simulation in Schritt f) zusätzlich die minimal erreichbare globale Stufenhöhe bestimmt wird.

10. Simulationsverfahren nach Anspruch 7 und 9, bei dem die zu erreichende globale Stufenhöhe abhängig von der minimal erreichbaren globalen Stufenhöhe gewählt wird.

30 11. Verfahren zum chemisch-mechanischen Polieren eines Substrats, insbesondere eines Halbleiterwafers, bei dem ein CMP-Prozeß mit einem Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 10 simuliert wird, auf einem Substrat eine zu planarisierende Schicht abgeschieden wird und das Substrat für eine aus der Simulation hervorgehende Polierzeit poliert wird.

12. Polierverfahren nach Anspruch 11, bei dem der CMP-Prozeß mit dem Verfahren nach einem der Ansprüche 8 bis 10 simuliert wird und die zu planarisierende Schicht in der benötigten Ab-
5 scheidedicke A abgeschieden wird.

Zusammenfassung

Verfahren zur Charakterisierung und Simulation eines chemisch-mechanischen Polier-Prozesses

- 5 Ein Verfahren zur Charakterisierung und Simulation eines CMP-Prozesses, bei dem ein zu polierendes Substrat, insbesondere ein Halbleiterwafer, auf ein Poliertuch gedrückt und relativ zu diesem für eine bestimmte Polierzeit rotiert wird, umfaßt
10 die Verfahrensschritte:
a) Festlegen eines Satzes von Prozeßparametern, insbesondere von Andruckkraft und relativer Rotationsgeschwindigkeit von Substrat und Poliertuch,
b) Bereitstellen und Charakterisieren eines Testsubstrats mit
15 Testmustern mit unterschiedlichen Strukturdichten bei den festgelegten Prozeßparametern;
c) Bestimmen eines Satzes von Modellparametern zur Simulation des CMP-Prozesses aus den Ergebnissen der Charakterisierung des Testsubstrats;
d) Bestimmen von Layoutparametern des zu polierendes Substrats;
e) Festlegen eines Anforderungsprofils an das CMP-Prozeßergebnis für das zu polierende Substrat; und
25 f) Simulieren des CMP-Prozesses zur Bestimmung der zur Erfüllung des Anforderungsprofils erforderlichen Polierzeit.
Verfahren zum Betrieb einer Testvorrichtung für Halbleiterbauelemente

Figur 1

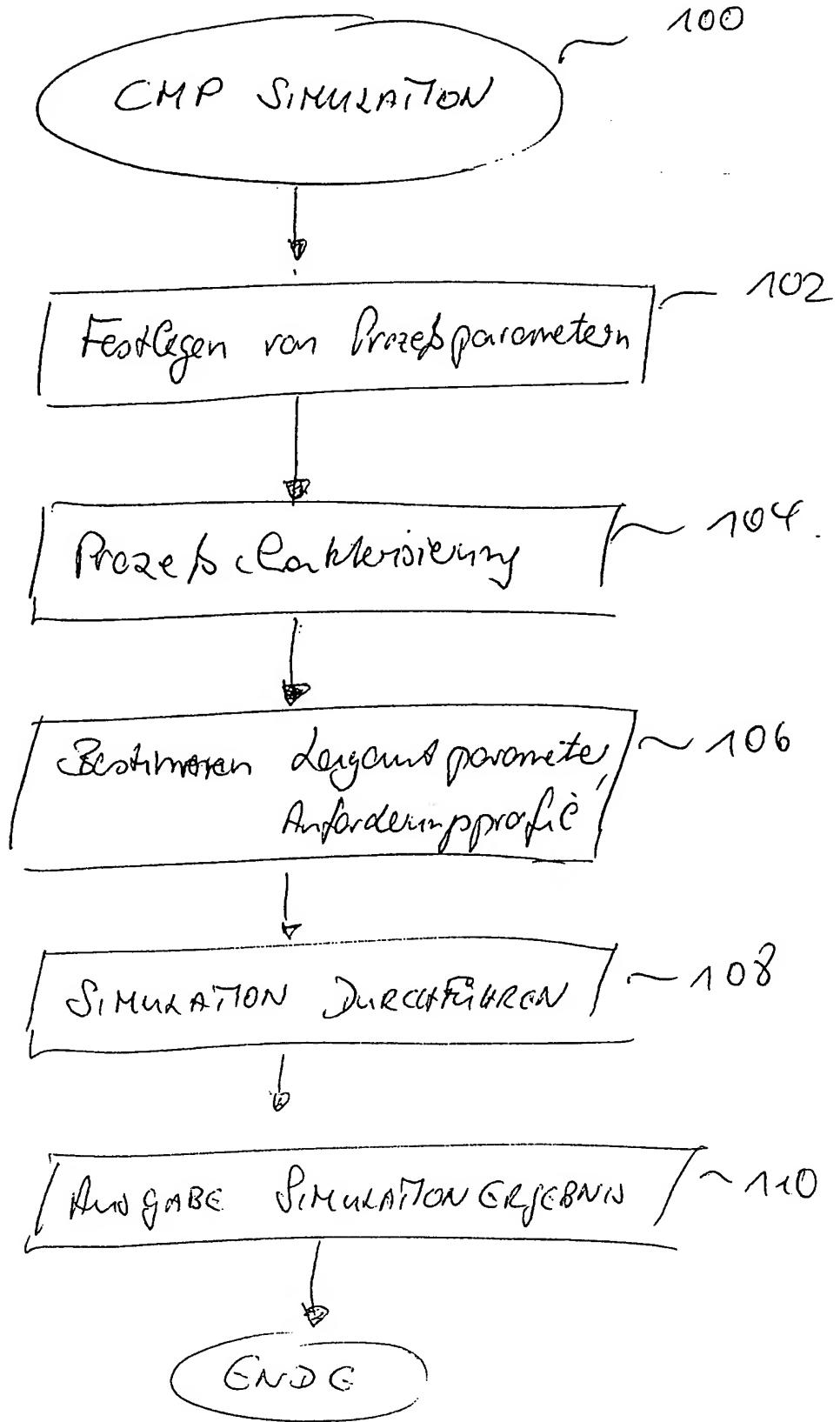
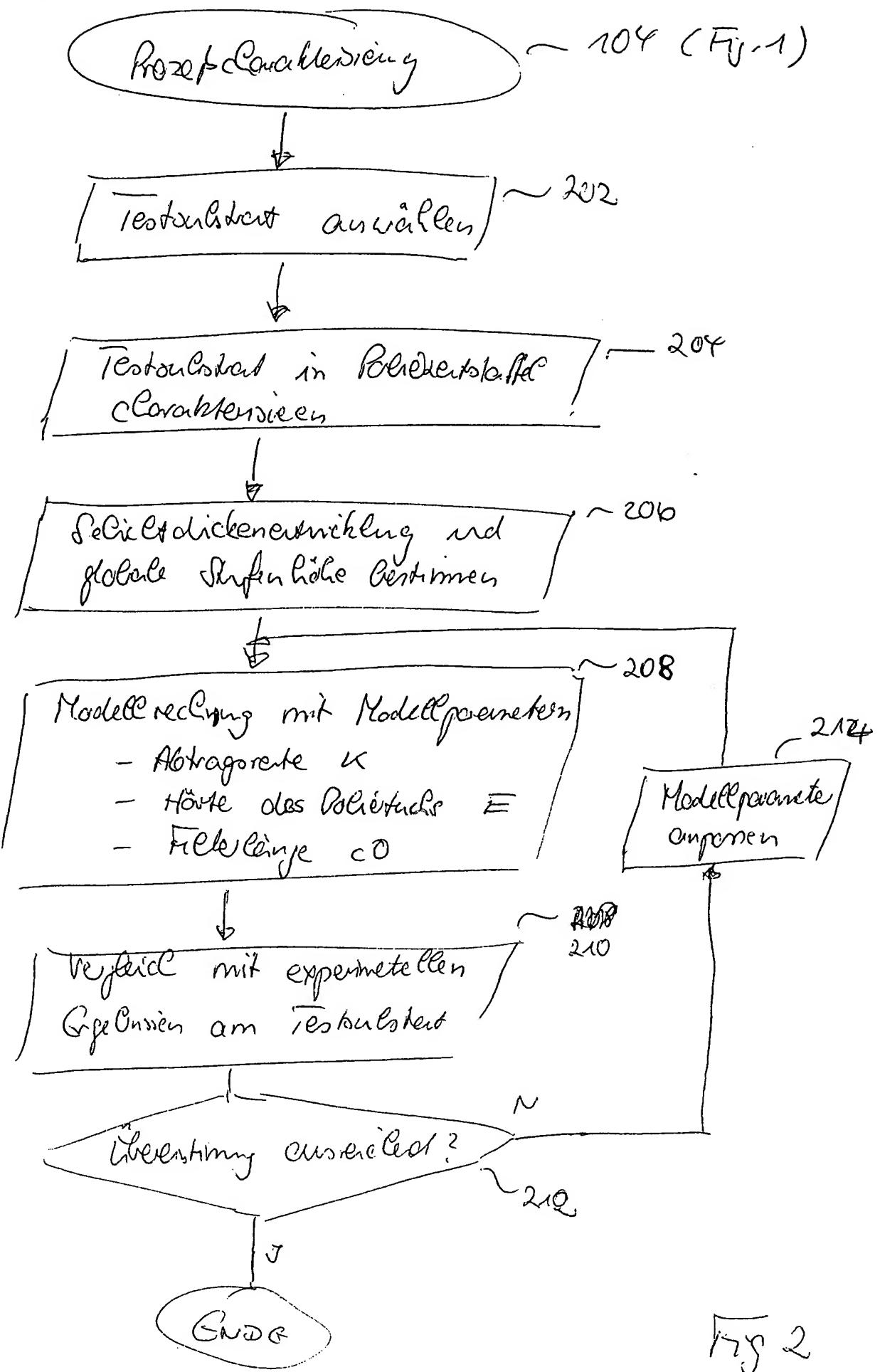


Fig. 1



Fij 2

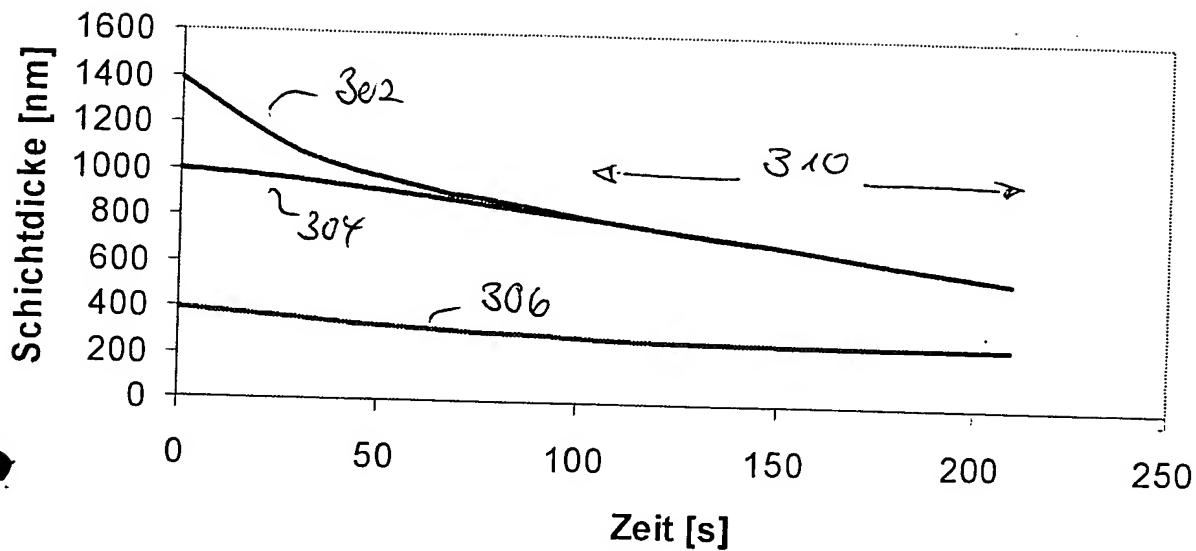


Fig. 3

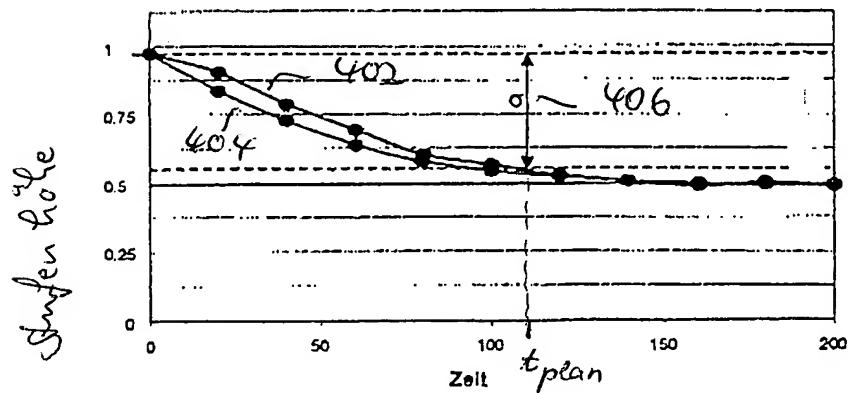


Fig. 4

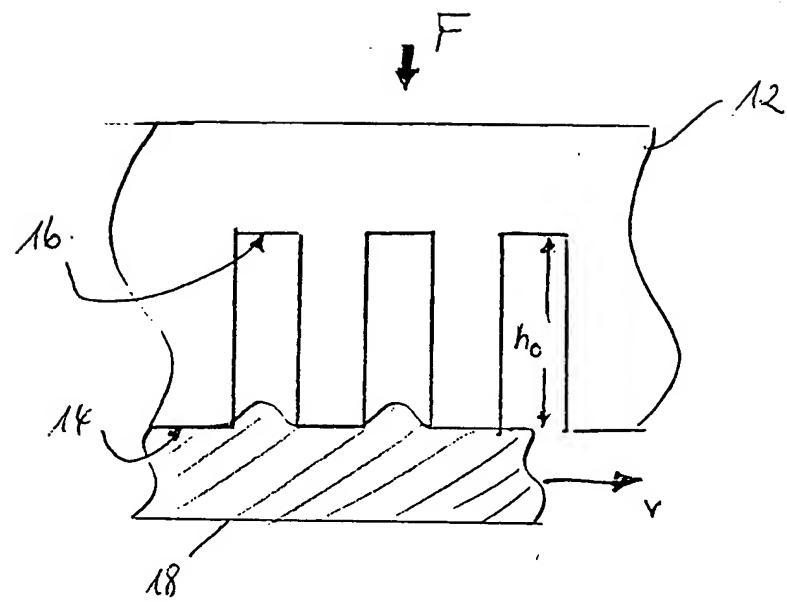


Fig 5

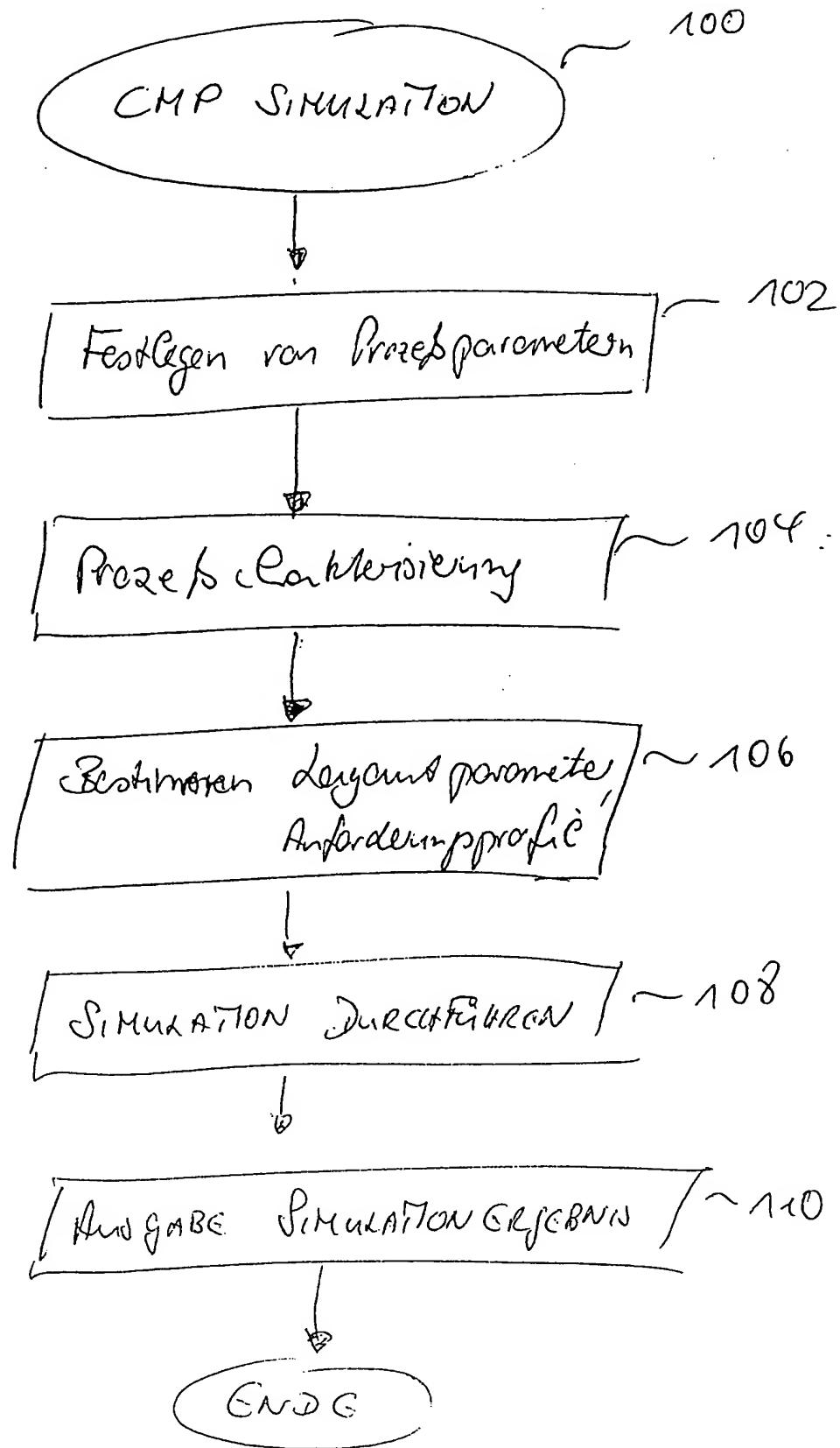


Fig. 1